

العنوان:	الصور العديدة للمرونة العصبية: القواعد البيولوجية للتعليم والتدريس
المصدر:	مستقبلات
الناشر:	مركز مطبوعات اليونسكو
المؤلف الرئيسي:	مول، فرناندا توفار
مؤلفين آخرين:	لنت، روبرتو، الزيات، حمدي(م. مشارك، مترجم)
المجلد/العدد:	مج46, ع2
محكمة:	نعم
التاريخ الميلادي:	2016
الشهر:	يونيو
الصفحات:	266 - 247
رقم MD:	979828
نوع المحتوى:	بحوث ومقالات
اللغة:	Arabic
قواعد المعلومات:	EduSearch
مواضيع:	علم الأعصاب، المرونة العصبية، التحصيل الدراسي، الخلايا العصبية التعليمية
رابط:	http://search.mandumah.com/Record/979828

الصور العديدة للمرونة العصبية: القواعد البيولوجية للتعليم والتدريس

فرناندا توفار - مول^(1,2) وروبرتو لنت⁽¹⁾ Fernanda Tovar-Moll, Roberto Lent

نشر على الإنترنت 20 فبراير/شباط 2017

© اليونيسكو IBE 2017

تلخيص: يعتبر التعليم أحد أشكال التحصيل الدراسي ذات المنهجية الاجتماعية. ويتداخل في ذلك الأمر أدمغة مختلف الأطراف من طلاب ومدرسين وأعضاء عائلات وغيرهم، في علاقة تبادلية مستمرة. وتسمى مجموعة الآليات البيولوجية التي تعمل بواسطتها هذه الأدمغة، لاستلام وفك شفرة وتخزين وانتقاء المعلومات المتبادلة بينهما، باسم "المرونة العصبية". وهي القدرة التي تستطيع بواسطتها الأدمغة النامية والبالغة، التفاعل والتكيف في مختلف مستويات التعايش، بدءاً من الجزيئات إلى الألياف العصبية والشبكات والأشخاص والمجتمعات، ويهدف هذا المقال إلى مناقشة المبادئ الحالية لبحوث المرونة العصبية لكي يساعد صانعي السياسات والباحثين والمعلمين على مد الجسور بينهم للوصول إلى ممارسات ونماذج تعليم وتدريب.

الكلمات الأساسية: تكيف شبكي - مرونة متطورة - تعليم عصبي - توليد عصبي - مرونة بعيدة المدى - مرونة حلقيّة - مرونة الشبكة.

✉ Roberto Lent
rlent@icb.ufrj.br

1. Institute of Biomedical Sciences, Federal University of Rio de Janeiro, Av. Carlos Chagas 273, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro CEP 21941-902, Brazil
2. D'Or Institute of Research and Education, Rio de Janeiro, Brazil

حول التعليم والتحصیل الدراسي والمخ

يتفاعل الحيوان في أي وقت مع البيئة المحيطة، ويتبقى بعض الأثر لهذا التفاعل في دماغه لمدة وجيزة على الأقل. وسوف تحدد طبيعة التفاعل وتأثيره على حياة الإنسان مدى قوته. ومن ناحية، سوف ينظم مدى قوة التفاعل السابقة على الحيوان، مدة بقاء الأثر في المخ (الذاكرة)، والاستعمال الحالي لهذا الأثر لصالح الحيوان (الانتقاء لتوجيه السلوك)، ولهذا تعتبر الذاكرة بمثابة القدرة على وضع شفرة، وعلى تخزين وانتقاء المعلومة، بينما عملية التخزين هي ما يسمى فقط "التعليم" (كلنج برج، 2013). وتعتبر آليات التخزين أمرا حيويا لبقاء العديد من الأنواع، وهي أي الآليات، تمر على الدوام بتغيرات وتحديثات في استجابة لمطالبات البيئة المحيطة (بونين، ودي كونيك 2015).

وتتضمن كلمة "التعليم"، بناء على ذلك، فردا واحدا، حيث يلتقط المخ المعلومات من البيئة المحيطة ويحتفظ بها لبعض الوقت، وقد يستخدمها بالفعل لتوجيه سلوك لاحق، ويتعدى مفهوم التعليم بشكل كبير جزئية الذاكرة، على الرغم من أنه يجب علينا التمييز بينهما، باعتبار الذاكرة عملية إجمالية، والتعليم هو مرحلة استيعاب فقط.

وتشمل البيئة المحيطة، في معظم الأوقات، أفرادا آخرين لهم أدمغتهم الخاصة بهم، ولهذا يحدث تفاعل تبادلي بين الأدمغة ويصير التعليم، عملية تبادل بينهم، وفي هذا الصدد، يتعلم كلا الدماغين في الوقت نفسه، ويعد هذا أمرا مهما للبشر، حيث إننا نعيش في مجتمع، وهو ما يعنى مجموعة نشطة من التبادلات بين الأفراد، والتعليم المتبادل هو العملية الأكثر أهمية والتي يحقق من خلالها البشر تحسنا عقليا وتقدما ماديا.

ويتخذ التعليم أشكالا كثيرة التعدد في الحياة اليومية (ملتزوف وكول، وموفيلان، وسيجنوفسكي 2009). يعتبر بعض هذه الأشكال بسيطا، مثل مراقبة شيء ساكن، وبعضها شديد التعقيد مثل اللعب على آلة موسيقية في عملية منسقة مع فريق أوركسترا، ويتعلم حديثو الولادة أمورا بسيطة ولكنهم سرعان ما يكتشفون وسائل أفضل لتعلم أمور أكثر تعقيدا أيضا. إنهم يتعلمون طريقة التعلم.

ونظرا لتعقد مهمة التقاط هذه الكمية الهائلة من المعلومات المتاحة في البيئة المحيطة، فإن المجتمع الإنساني قد طور طريقة منهجية لتسهيل التعلم وخلق ما يسمى بالتعليم (بروير 1997، وبيرنس وفوكس 1998).

ويعتبر التعليم بناء على ذلك، طريقة اجتماعية ممنهجة للاستيعاب ولتعلم طريقة التعليم، وهو أيضا وسيلة تبادلية لأنه يتضمن طرفين على الأقل، المتعلمين والمدرسين. والمتعلمون هم الأشخاص الذين يجهلون بعض الأمور، بينما يمتلك المدرسون المعرفة، ويتوقع المرء نقل هذه المعرفة بواسطتهم إلى المتعلمين. ولهذا يعتبر التعليم عملية تبادلية وليست متماثلة، وقد يقوم

المدرسون بالطبع، في العصر الحديث، بتصميم أدوات لتحل محلهم (الكتب والنماذج والألعاب، والفيديو، وأدوات أخرى).

ويعتبر التفاعل التبادلي غير المتماثل بين المتعلم والمدرس بمثابة تبادل بين دماغين (سيجمان، وبينيا، وجولدين، ورييرو 2014)، ويتعين على كليهما تأسيس اتصال عقلي باستخدام اللغة المنطوقة أو غيرها أو اتصال حسي (مرئي وسمعي وتلامسي) وسلوك حركي متجانس للاتصال الفعال (فريستون، فريث، 2015). ويغير الدماغين المتفاعلين من بعضهما البعض عبر الزمن، حيث يهيئ كل منهما نفسه لنقل وتخزين المعلومات، من أي منهما إلى الآخر. ومن أجل إنجاز هذه المهمة الضخمة، تستخدم الأدمغة خاصية مهمة جدا، ألا وهي المرونة العصبية (تشانج 2014).

ويمكن تعريف المرونة العصبية بقدرة المخ على التعرض لتغيرات مؤقتة أو دائمة كلما تأثرت بأدمغة أخرى وبالبيئة المحيطة، وتوجد هذه الخاصية في مستويات عديدة مختلفة ومتتابعة في كل الحيوانات ذات الأجهزة العصبية (روز 1976)، وعلى المستوى الجزيئي والخلوي وفي داخل الخلية العصبية والخلايا الدبقية، وداخل الوصلة العصبية بين خليتين عصبيتين (على مستوى الدائرة المصغرة) مع اعتبار كل خلية عصبية مع حزمها المنتهية في خلايا عصبية أخرى ومختلفة (على مستوى دوائر متعددة)، وعلى مستوى الشبكة باعتبار أجزاء المخ النشطة والمتفاعلة مع بعضها البعض للفرد. ويمكن للمرء تشكيل مستوى آخر إضافي وأكثر تعقيدا، وهو التنظيم المجتمعي الذي يضم أزواج البشر أو حتى مجموعات الناس (أدمغة بشرية متفاعلة).

وسنقوم في هذا المقال بوصف ومناقشة مختصرة لهذه المستويات من المرونة العصبية، بهدف الكشف عن الآليات التي تستخدمها الأدمغة المتبادلة فكريا والتي تشكل الأساس في التدريس والتعليم الشخصي والتعليم العام والأمور الشبيهة ذات الصلة بالعمليات الاجتماعية. وقد بدأت هذه المهمة على الفور في علم الأعصاب، وسوف نقدم بعض الأمثلة لتوضيح إمكانات هذا الاتجاه التطبيقي.

الخلايا العصبية التعليمية

تستطيع الخلايا العصبية أن تتعلم، أي أن تخزن المعلومات التي تتلقاها من خلايا عصبية أخرى عبر الوصلات العصبية، ويعتبر ذلك المستوى من تحليل الظاهرة التعليمية هو الأبسط من نوعه، ومن المعروف أن الليفة العصبية تنقل المعلومات الكهروكيميائية (نبضات عصبية) إلى خلية عصبية ثانية عبر الوصلة الرابطة بينهما (المشابك العصبية)، وبالإضافة إلى الحدث السريع الواقع بواسطة جهد الغشاء الخلوي (فيما قبل وبعد الوصلة) فإنه يتم كذلك نقل رسالة كيميائية حيوية بشكل أبطأ لحد ما، عبر الخلايا العصبية المتواصلة بينها، إلى نوايا هذه الخلايا، كما تصل إلى الجهاز الوراثي الموجود فيها (كاندل 2012، وسالازار، وكالديرا، وديورات 2015)، وتعمل على

تخليق البروتينات التي تثبت وتقوى الوصلات المشاركة في هذه العملية.

وتقع الظاهرة المذكورة من قبل في صورتين حيوتين رئيسيتين وهما "عملية التقوية المستمرة للوصلات العصبية بين الخلايا" "LTP" وعملية "انخفاض نشاط الوصلات العصبية" "LTD" واللذان كانتا موضع بحوث كثيفة، بعد وصف العملية الأولى من طرف "بليس ولوتو 1973" في منطقة الحصين (بالدماغ)، وذكرت العملية الأخيرة بواسطة "إيتو، وساكوراي، وتونجروش 1982"، في منطقة المخيخ، وتمثل كل العمليات "LTP" و" LTD" آليات تبادل وتضاد، تقوم بتعديل فاعلية الوصلات العصبية، ولهذا فهي تسهم في صقل أفضل لعملية معالجة المعلومات والتخزين. ويقومان معا بتزويد الذاكرة بالمرونة اللازمة لتسهيل تعلم المعلومات الجديدة والتي قد تحل محل المعلومات العتيقة والخاطئة والمسببة للتوتر (كونور، ووانج 2015). وتعتبر عملية التقوية المستمرة للوصلات العصبية وكذلك انخفاض النشاط على أساس أنها آليات بيولوجية افتراضية للتعليم والذاكرة، بمثابة ظواهر كهروفسولوجية، تتبدد بعد فترة قصيرة من الزمن. ويثور ذلك السؤال، كيف يمكن تفسير الذاكرة بعيدة المدى على أساس أنها نتيجة للتعليم؟ كيف يمكن لظاهرة كهروحيوية عالية العشوائية، أن تتحول إلى أثر دائم مستقر في الذاكرة وقادرة على الاسترجاع في أي وقت يحتاجها المرء؟

وقد اتضح أن الآليات بعيدة المدى، تتضمن تهيئة الجهاز الوراثي ليقوم بتخليق بروتينات جديدة، ويتم بدءا من النواة، نقل الجزيء الوراثي "MRNA" والبروتينات المخلفة حديثا إلى الوصلات العصبية المنشطة أصلا، والتي يعتقد أنه قد تم تصنيفها (تمييزها بواسطة علامات معينة) سابقا بواسطة المعلومات المنقولة مسبقا إلى هذه الوصلات العصبية نفسها (فراي موريس 1997)، وتقوم هذه البروتينات، بالموازاة مع ما سبق، بزيادة الالتصاق بين الخلايا العصبية المتصلة، وبمضاعفة عدد الوصلات العصبية بين هذه الخلايا، ولهذا فهي تقوم بتثبيت المعلومة الأصلية في المخ (جيزة، وميزونو 2013).

وتتمكن الخلايا العصبية بالاستخدام المستمر لهذه الآليات، من التعليم، وهذا يعني أنها قادرة على التقاط المعلومات من خلايا عصبية أخرى، وتخزينها في الوقت نفسه، وتصير المعلومات المخزنة بالفعل ذات شفرة مفكوكة في الإشارات المتعلقة بها والمشتقة من الخلية العصبية، لتصل إلى خلايا أخرى في أماكن مختلفة من المخ.

الدوائر التعليمية

تستطيع الخلايا العصبية أن تتعلم، ولكنها لاتفعل ذلك بمفردها، حيث يشترك في هذه العملية، عدد كبير من الخلايا العصبية المرتبطة بالوصلات العصبية، حتى في أبسط صور التعليم. وتقوم هذه الخلايا بتأسيس دوائر مع خلايا عديدة أخرى ومع الخلايا الدبقية (وينيز، ومانياس،

وجارسيا، وجوفير 2000، وفيلدرز وآخرون 2014). وهذه الدوائر الجديدة عديدة الخلايا هي التي تصير المستودع الأساسي للمعلومات المخزنة التي يتصف بها التعليم.

وتتمكن خلية عصبية واحدة بفضل الترتيب الخاص في القشرة الدماغية العادية أو الخلايا العصبية، بالحصين (أحد أجزاء البطين الوحشي بالدماغ) من تلقي معلومات من آلاف الخلايا العصبية، وترسل استجابات مرتدة بنسخ من مخرجات المعلومات إلى نفسها وإلى الخلايا العصبية الأخرى المجاورة، ولهذا، فإن أي خلية عصبية بشرية لاتوجد وحدها في المكان، ولكنها بالأحرى تؤسس دائرة معقدة، التي تنتقل من خلالها المعلومات بشكل نشيط، وحيث تقع آليات المرونة العصبية في تبادل مشترك. وربما يحتوى حجم صغير قدره مليمتر مكعب واحد من المنطقة الخلفية لقشرة المخ، حوالي مائة ألف خلية عصبية ومعها عدد قد يرتفع إلى خمسة عشر مليوناً من الوصلات العصبية (داكوستا ومارتين 2013). وقد تعرف الباحثون بالإضافة إلى ذلك، على أجزاء عصبية (مثل الأعمدة) من الناحية التركيبية والوظيفية، سواء كانت ذات تركيب خلوي متجانس (روكيل، وهيورنز، وباول 1980) أو غير متجانس (هيريكلانو وهوزيل، كولينز، وونج، وكاس، ولنت 2008). وتعتبر هذه الأجزاء بمثابة وحدات المعالجة بالمخ، وهي تحتوى على مايشبه دوائر تنظيمية قادرة على أداء حسابات شبيهة (دوجلاس، ومارتين 2004)، ويعتبر المرء أنها تمثل وحدة دائرة معالجة حسابية صغيرة، لمعالجة الذاكرة في المخ.

وتنتشر المولدات العصبية في مناطق خاصة، بالإضافة إلى الأجزاء ذات التركيب الخلوى المكتسب خلال النمو في بعض المناطق المعنية، لكي تولد مجموعات جديدة من الخلايا العصبية، ليس فقط خلال فترة النمو، ولكن طوال حياة البالغين، وتسمى هذه الظاهرة "بالتوليد العصبى"، وهي تعنى إنتاج خلايا عصبية من خلال الجذع المتواجدة في الأجزاء المجاورة. وقد ذكرت عدة دراسات وقوع هذا الأمر في ساحة الحصين، وليس ذلك مقصوراً على القوارض المخصصة للتجارب (كمبرمان، وجاست، وكرونبرج، وياماغوشي، وجيج 2003، ونيكوفيك، ومورى، وجونز 2007)، ولكن يوجد أيضاً في البشر (سبالدينج وآخرون 2007). وقد صارت مناطق أخرى مثل القشرة المخية الحديثة، هي مثار تناقض صارخ بخصوص وجود (أو غياب) التوليد العصبى لدى البالغين في الحيوانات (بانديرا، ولنت، وهيريكلانو، وهوزيل، 2009؛ وراكيك 1985) وهو الأمر الذى لم يتأكد لدى البشر (بهاروداواج وآخرون 2009). وعلى أى الأحوال، فقد أظهرت الدراسات أن الخلايا العصبية الحديثة تهاجر إلى المكان السليم في التلفيف المسنن للحصين، وتصير ناضجة وتتكامل مع الدوائر التي تشكل أساس آليات الذاكرة (إفيون وآخرون 2014).

أى أن تكاثر الخلايا العصبية المستمر خلال فترة حياة الفرد البالغ هو إحدى الآليات التي قد تفسر التعليم على المستوى الخلوى المعبر عنه، وبالإضافة إلى ذلك، فإن التعليم نفسه يحدث على التوليد العصبى (أوبن داك، وجولد 2015)، وهو ماينشئ دورة رائعة لإنتاج هذه الظاهرة على أكمل وجه.

وتسمح التكنولوجيا الحديثة، مثل تقنية الجينات البصرية في مجال تمييز الخلايا العصبية النشطة في أدمغة القوارض، تسمح بالحصول على دليل إيجابي وظيفي لوجود تجمعات عصبية تعليمية، وبالأخص تلك المتعلقة باكتساب ذاكرة الخوف والانتقاء (ليو وآخرون 2012). وتسمح الجينات البصرية لبعض الخلايا العصبية بالإشعاع الضوئي عندما تكون نشطة، ولهذا فإنها تصير مرئية بواسطة الميكروسكوب، وتظهر الدراسات أن بعض التجمعات العصبية المشعة، تعبر عن الدوائر المنشطة خلال التعليم، حيث إنه يمكن إعادة تنشيطها بالتعرض للضوء بعد ذلك، وتذكر أن هذا يتعلق باستخراج الخبرات السابقة المخزن فيها. ويعبر هذا في الواقع عن حدوث تغير في الدماغ، بعد أن يجرب الحيوان الخوف بنفسه (ليو، وراميرز، وردوندو- وتون جاوا 2014).

وتلعب الخلايا الدبقية، وبالأخص هذه المعروفة باسم الخلايا النجمية دورا مهما في توسيع وتحديد حيز هذه الدوائر، وهي تقبع بشكل استراتيجي داخل الدوائر العصبية لترتبط التشابكات العصبية في حيز فضائي واسع، والذي يصير قادرا على تخزين المزيد من المعلومات، وأكثر مما تسمح به اتصالات التشابك ذات الممرات وحيدة الاتجاه (فيلد، وآخرون 2014). ومن المقدر أن خلية نجمية واحدة في القشرة المخية للإنسان قادرة على استيعاب مدخلات من 2 مليون تشابك عصبى (أوبرهايم، ودانج، وجولدمان، وندرجارد 2006). ويعتقد أن هذا الترتيب الفراغي في المخ له أهمية عندما يعتمد التعليم الإدراكي على الإطار المحيط بالنقطة المعرفية المنشودة، ونلاحظ أن الوظائف الثابتة للخلايا النجمية، مثل مراقبة تركيز أيونات البوتاسيوم (K^+) خارج الخلايا، وإزالة أو استقبال الناقلات العصبية المستثارة، عبر الفراغات ما بين الخلايا العصبية، لتقديم اتصالات سريعة متناسقة عبر فتحات الوصلات، هي متمشية مع هذه الرقابة الشبكية المحلية والضرورية للتنظيم الزمني لسريان المعلومات (فروز، ومنزيس 2002). وقد أوضح "برناردنلي وآخرون" (2014) أن الخلايا النجمية، والمتشابهة مع الخلايا العصبية، تمر بتغيرات تركيبية، بعد حدوث عملية التقوية المستمرة للوصلات العصبية "LTP" فيزداد معدل التغطية الحجمية للدوائر المتشابكة وكذلك يزداد الثبات طويل المدى للاتصالات التشابكية.

الشبكات التعليمية

إذا ما تم تخيل التعليم والذاكرة، على أساس أنهما دوائر منفردة ودوائر متعددة الوظائف، فإنهما يظان مقصورين على مجالات وظيفية محدودة. وعلى كل حال، يتطلب كل حدث منفرد يتضمن تعليما لدى البشر، وقدرا هائلا من تنوع الوظائف. خذ على سبيل المثال، بنت صغيرة تحاول تعلم الكتابة، وحينما تجلس على الطاولة عليها أن تنسق وضعها الجسدي مع حركة يدها وأصابعها لكي تمسك بالقلم وتخط الرموز المناسبة على الورقة، وعلاوة على ذلك، يتعين عليها التحكم بصريا في أداؤها وأن تصغى وتستمع لتعليمات المدرس، وتفهم معانيها

والتفكر فيها، وتحول أفكارها إلى كلمات مكتوبة. وعمليا، فإنه تشغل كل المجالات الوظيفية للمخ بهذه المهمة.

ويصير الأمر أكثر واقعية لنصل إلى استنتاج مفاده أن التعليم لا يتضمن قط عدة خلايا عصبية وبعض التشابكات وعدة دوائر عصبية وخلايا قمطية خلال جزء من المخ، ولكنه يتطلب تصافر مجموعة من مناطق المخ المختلفة التي تشكل عدة تشابكات (جيلمور، ونيلسون، وماك درموت 2015). وتتصل مناطق المخ بواسطة قنوات طويلة من مادة بيضاء، ولذلك عندما نرغب في فهم الآليات المرنة للسلوكيات المعقدة، علينا أن نأخذ في الاعتبار إمكانية حدوث ذلك في هذه المسارات الطويلة، وليس فقط خلال أجزاء صغيرة، وهو المفهوم الذي نطلق عليه "المرونة عبر المسافة الطويلة" (توفار - مول، وآخرون 2014)، وتوجد الشبكات الوظيفية في المخ البشري في نسق زمني نشط، حتى في غياب أى وظائف محددة كما هي الحالة في نظام الوضع الافتراضى "DMN" (جريسيسوس، وكراسناو، ورايس، ومنون 2003)، والمسجلة عندما يرقد الأشخاص في جهاز الرنين المغناطيسى بدون مهمة محددة عقلية، ويتسم هذا النظام بالثبات بين مختلف الأفراد، ويفترضه الباحثون للتعبير عن شبكة مخصصة للأفكار المتجولة (فوكس، وسبرنج، وإلاميل، وأندوز - حنا، وكريستوف 2015).

وقد تضاعفت دراسات شبكات المخ المنهمكة في المهام التعليمية في الأعوام الأخيرة بعد تحسن وسائل الكشف الظاهري والتصور العصبى الوظيفى (شانج 2014)، وتقارن معظم الأعمال بين أشخاص تعلموا مهمة محددة مثل عزف على آلة موسيقية أو أداء رياضة أو مهام أخرى، مع أشخاص عاديين ليس لديهم تدريب مماثل. وقد وصفت الدراسات عددا من الاختلافات الظاهرية (المورفولوجية) والوظيفية في مناطق محددة من المخ، وأرجعت هذه الاختلافات إلى التدريب (انظر جانك 2009، للمراجعة)، وتتسم معظم هذه الدراسات بأنها شاملة، فهي تختبر الأشخاص في عمر معين بعد قدر معين من التدريب، وتقارنهم بنظائر عاديين، ولكن كيف يتأكد المرء من أن الأشخاص المدربين لم يتمتعوا عند ولادتهم بهذه المساحات المتميزة من المخ التي تسمح لهم بأداء مهامهم بامتياز؟ وما هو السبب، وماهى التوابع؟ ونلاحظ أن المعيار الذهبى للخروج بخلاصات قوية هو اتباع دراسات طويلة، تفحص الأفراد في عدة نقاط زمنية متتابعة خلال التمرين، أو على الأقل قبل وبعد التدريب. ولحسن الحظ (على الرغم من بعض دراسات قليلة متاحة حاليا)، فإن هذه الدراسات تؤكد أن التدريب يشجع على تغيرات محسوسة في المخ، ويعتبر ذلك الأمر صحيحا بالنسبة للموسيقى (هايد وآخرون 2009)، وعند الاستماع (هيردندر وآخرون 2010)، وألعاب المهرج (دراجانسكى وآخرون 2004) ولعب الرجبي (سيكى جوش وآخرون 2011)، والرقص (كروس، وكريمير، وهاميلتون وكيلي، وجرافتون 2009) ومهارات أخرى عديدة.

تسهم هذه الدراسات في التعرف على مساحات المخ المتغيرة مع تعلم مهام مختلفة. وهى

تعبّر عن نوع من "جهود رسم خرائط عقلية"، والتي تميز مناطق خاصة نشطة بالمخ لكل نوع من التدريب. ويظهر أحد الاتجاهات المتكاملة بشكل كبير، مناطق المخ (شبكات) في نشاط تعاوني، أو على الأقل في تناسق، خلال أداء مهام معينة متصلة بالتعليم، ويعتبر اقتراح "جيلمور وشركاه" (2015) والخاص بشبكة الذاكرة الجدارية، أحد الأمثلة المهمة على ذلك، وقد توصل عدد من الدراسات (مثل شيرر، وريالي، وريكلفسكايا، ومنيون، وجريسيوس 2012، وكذلك يو، وآخرون 2011) إلى أن المناطق التي تشكل جزءاً من هذه الشبكة، تعرض نشاطاً متناسقاً حسبما يتضح من استخدام أجهزة الرنين "MRI". وبالإضافة إلى ذلك، فإن التحليلات الناتجة عن خلاصات المراجع (من نوع ميتا meta) قد أوضحت أن نفس هذه المناطق ذات نشاط متعلق بنجاح الذاكرة الانتقائي (كيم 2013)، أو القدرة على التعرف على البنود التي سبق تعلمها في الماضي، بالمقارنة بالبنود الجديدة. ويستطيع المرء الاستنتاج بأن هذه المجموعة من المناطق تمثل شبكة الذاكرة الانتقائية في المخ البشري، وقد أضافت دراسة حديثة إلى معارفنا حول دوائر الذاكرة، موضحة دوراً غير متوقع لنظام الوضع الافتراضي "DMN" في ذاكرة الاسترجاع العاطفية المتعلقة بالسيرة الذاتية (بادو، وآخرون 2014) مما يوسع من وظيفته كما سبق ذكره.

ويذكر الباحثون شبكات متنوعة للمهام المختلفة، بما في ذلك هذه الوظائف عالية التعقيد ذات التحديد الثقافي كالقراءة والكتابة والرياضيات (ديهين وكوهين 2007). وتعتبر الشبكات المختصة بهذه الوظائف المعقدة، مهمة بصفة خاصة، لأنه لا يمكن شرح وجودها بالانتقاء عبر التطور، حيث إن البشر قد طوروا لغة الكتابة في تاريخ حديث جداً (منذ حوالي 5500 سنة) والرياضيات في تاريخ أكثر حداثة (منذ حوالي 2500 سنة)، وهي فترات قصيرة جداً لكي يزاوّل الانتقاء عبر التطور تأثيره، ولهذا السبب فهي تعتبر منتجات ثقافية، تم إدراكها بالنمو خلال فترة ما بعد الولادة (ديهين وكوهين 2007). وبالنسبة للبالغين فإن مجموعة مناطق القشرة المخية، في النصف الأيسر من المخ تنشط باستمرار عندما يطلب الباحثون من الأفراد القراءة بينما يتم تسجيل نشاط المخ بواسطة جهاز الرنين (MRI). وقد أظهرت البيانات الكهروفسولوجية للأطفال (في الحضنة)، كما جاء لدى "مادزر وآخرون 2006" أن وظيفة القراءة تتبع على جانبي المخ في البداية، ولكنها تصير فيما بعد من اختصاص جانب واحد فقط (غالباً الأيسر) بعد أن تزود المخاطلة المدرسية الطفل بكفاءات القراءة. والجدير بالذكر، أن وظائف أخرى (مثل التعرف على الوجه) تنشط بعض مكونات هذه الشبكة في الأشخاص الأميين (ديهين وآخرون 2010)، وهو ما يعني أن المرونة هي عامل محدد في هذه الحالة طالما أن نفس مناطق القشرة يمكنها أن تنشط في التعرف على الوجه أو التعرف على رسم معين عندما يتعلم المرء القراءة. وعلاوة على ذلك، تتصف شبكة القراءة بالتعرض المستمر لمؤثرات ثقافية مع نفس الطبوغرافية في أدمغة اليابانيين، والصينيين، والقارئيين بالحروف الرومانية (بولجر، وبيرفيتي، وشنايدر 2005). ونلاحظ في هذا

الإطار أن القراءة كوظيفة معقدة، لاتقتصر فقط على مكون الإدراك البصرى المتخصص في التعرف على الرسوم التصويرية (جويارد، وكريفيليو، وتزوريو مازويار 2003)، ولكنها تشمل أموراً أخرى، مكلفة بتناسق حركة العيون والانتباه (فوجل وآخرون 2013). ويعد ذلك السبب وراء تنشيط عدة مناطق من قشرة المخ، تلقائياً عندما يطلب الباحثون أداء مهمة القراءة من الأشخاص الخاضعين للتجربة في وجود جهاز "MRI".

ويكمن التفسير الأكثر قبولا للشبكات الوظيفية في الارتباط التشريحي للمناطق المتناسقة، سواء كان ذلك بشكل مباشر أو غير مباشر، ولهذا فمن الممكن تصور هذه المناطق كدوائر ذات مسافات طويلة، مكونة خلال التطور وعرضة للمرونة بفعل البيئة. ويعتقد معظم الباحثين، اتفاقاً مع هذا الرأي، بأن الأدمغة المعقدة للشبكات ربما طورت اتصالات تركيبية أكثر فعالية مما يمكن معه لشبكات وظيفية واسعة من العمل (سبورنز وكوترا، 2014).

تشكل الدوائر ذات المسافات الطويلة قطاعاً مهماً لكل مساحات المخ أو نسيج المادة البيضاء، ويتكون هذا القطاع من أعداد كبيرة من الألياف العصبية والتي ترتبط كلها بخلايا عصبية على مسافات مختلفة. وتختلف المادة البيضاء عن المادة الرمادية حيث تتكوم الأجسام العصبية في العقد المشار إليها من قبل. وتشتمل المادة البيضاء على ألياف موجهة إلى عدة مساحات في المخ، وهى التى تشكل القنوات الرئيسية التى تنقل بواسطتها الخلايا العصبية المعلومات إلى خلايا عصبية أخرى على مسافة ما منها.

ولنأخذ كمثال "الجسم النفتى"، وهو يعد بمثابة قناة واسعة تشكل جزءاً من المادة البيضاء الذى يربط بصفة خاصة نصف المخ بالنصف الآخر (شين وآخرون 2015). وتشير الأدلة إلى احتوائه على 200 مليون ليفة (أبويتز، وشيبل، وفيشر، وزايدل 1992) رابطاً بين المناطق القشرية ذات المجالات الوظيفية العديدة، بصرية وسمعية، وعاطفية، وإدراكية، أو ذات صلة بالذاكرة وغيرها. يبدأ الجسم النفتى فى التكون لدى البشر مع حلول 12 أسبوعاً من الحمل، وبالتتابع مع قنوات ليفية أخرى داخل المادة البيضاء (راكيك، وراكوفيليف 1968). ونبدأ حالياً فى اكتساب معرفة تفصيلية للآليات التى تحكم القدرة المعقدة للألياف الفردية (نفثية وأخرى عديدة) فى الاستطالة فى الاتجاه الصحيح، حيث تشكل انحناءات ويخرج منها تفرعات، حتى تجد أهدافها الدقيقة فى المخ (شيدوتال، ورتشاردز 2010، وفنلون، ورتشاردز 2015). ويتضمن هو المحور العصبى والتوجيه عدداً كبيراً من الإشارات الجزيئية والخلوية، التى يتم التعبير عنها فى الأماكن والأوقات المناسبة. ويعد ذلك أمراً صحيحاً بالنسبة للألياف النفثية التى تبرز من بعض الخلايا ذات الشكل الهرمى فى القشرة المخية لكل نصف (من نصفى المخ) حيث تنمو باتجاه المادة البيضاء وتفرع فيها أو تنحنى مباشرة إلى خط المنتصف (جارسيز وآخرون 2007)، وبعد عبور هذا الخط، يبدأ الرحلة من جديد، لينتهى فى مناطق المواضع المتشابهة فى نصف المخ المقابل (فنلون ورتشاردز 2015).

وتعتبر الألياف النفثية أساسية في حياة البشر لتبادلات معقدة بين جانبي الجسم لدى كل فرد، وفي تقديم نوع من الاتصال بين مناطق المخ (في كل منتصف دماغ) والتي تبدو متشابهة ولكنها مختلفة وظيفيا (جازاينجا 2005). وتتولد لدينا القدرة من خلال الجسم النفثي على ربط الحديث بعلم العروض (ساملر، وكوتز، وإكستين، وأوت، وفرديريس 2010). ويعنى الحديث بالنسبة لنا، على سبيل المثال، أفكارا نسبية، تنتقل عبر الأصوات، التي تنتجها التراكيب التشريحية في الحلق والوجه. وينقل الكلام دائما معنى نسبيا يشق من أفكارنا. وتضفى العواطف طبيعتها على الكلام، بطريقة قد تغير تماما من معنى المحتوى البارد النسبي لجملة ما. عليك فقط في التفكير في الكلمتين "نعم"، و"لا".

وقد مررنا جميعا بمواقف في الحياة، حيث تأخذ كلمة "نعم" معنى "لا" والعكس صحيح. ويتأثر هذا الإضفاء العاطفي على معنى الكلام بالإيقاع المميز للصوت وتعبيرات الوجه، وإيماءات، تصاحب أصوات الكلام، ويختص كل من التحدث وإيقاع الصوت بأحد جانبي المخ، الأول في الجانب الأيسر والثاني في الجانب الأيمن. وأحد وظائف الجسم النفثي هو إدماج الإيقاع مع الكلام أي ربط شبكات الجانب الأيسر بالجانب الأيمن للمخ (ساملر، وآخرون 2010).

وتستخدم الألياف النفثية عادة، الناقل العصبي الاستحاثي "الجلوتامات" للتواصل مع الخلايا العصبية المتلقية للنبضات في الجانب الآخر. وغالبا فإن هذه الخلايا العصبية المتلقية للنبضات هي خلايا "GABA" المثبطة للناقلات العصبية، وكذلك خلايا عصبية كابحة، ويتلخص التأثير الصافي للتنشيط النفثي في إحباط المنطقة القشرية المتماثلة الموضوع في الجانب المقابل (للمخ)، حسب (روك، وأبيسلا 2015). وقد ربطت البحوث بقوة بين مقدار الإحباط بين الجانبين (أي الذي يفرضه جانب على الجانب الآخر) من المخ، مع التعليم والمرونة العصبية ويعتبر الجسم النفثي لدى الموسيقين أحد الأمثلة على ذلك، حيث يتضح أنه يزاول إحباطا أقوى على الجانب الآخر (من المخ) عما يفعله نفس الجسم لدى الأشخاص غير الموسيقين. ويكون هذا التأثير أقوى بين الموسيقين لدى عازفي الوترية عنه لدى عازفي البيانو (فولمان وآخرون 2014). وأحد الأمثلة البارزة جدا لذلك، المبتور لديهم أحد الأطراف، وذوو الرجل الواحدة الذين يظهر لديهم أعراض الطرف الوهمي (إحساس جسدي، بما في ذلك الشعور بالآلم، كما لو كان مصدرها الطرف المبتور)، وقد أوضح "شين وكوهين وهاليت" (2002) أنه عند غياب الإحباط في الجانب المقابل، فإن خريطة الحركية الحسية في الجسم تتغير في هذا الجانب المقابل للبت، مع تمثيل أكبر للأجزاء المتبقية بجوار الرجل المبتورة. ويظهر لدى الجسم النفثي، بالإضافة إلى هذه الظاهرة، علامات تشوه تنظيمي على المستوى التركيبي المصغر، وهو ما قد يتعلق بإحباط أقل مسببا تغيرات جسمانية في الخريطة الطبوغرافية للجانب المقابل للبت، أو حتى في كلا الجانبين (سيموس وآخرون 2012). ويتضح كذلك مثال آخر للتواصل بين جانبي المخ والمتأثر بشدة بالتغيرات الجسدية الواقعة على مسافة

بعيدة، وهو القدرة (الموجودة لدينا جميعا) على التمييز بواسطة اللمس باليد مع غلق العيون لأحد الأشياء الموضوعة في إحدى اليدين. ويمكننا تسمية هذا الشيء على الوجه الصحيح، والإشارة إليه (باليد المقابلة) بين مجموعة من الصور لأشياء متشابهة (ريد، وكلاتزكي، وهالجرين 2005).

ويعتبر ذلك كل وظائف الجسم النفثي الذي يوضح تدريجيا خلال نمو المخ. ويتساءل المرء ما الذي يحدث عندما تعيق اضطرابات النمو، الألياف النفثية من عبور خط المنتصف؟ وقد يعتقد المرء أنه يجب قطع كل الاتصالات بين جانبي المخ طالما أن الجسم النفثي غائب، ولكن "سول وسبرى" (1968) أوضح حالة محيرة لدى فرد من البشر (سيدة) مولودة بدون الجسم النفثي (اختلال تكوين الجسم النفثي)، حيث إنه بجانب قدراتها الإدراكية السليمة، فإنه لم يظهر عليها الأعراض التقليدية لغياب الاتصال بين جانبي المخ والمعروفة لدى المرضى البالغين الذين تجرى لهم عملية جراحية لقطع مستعرض للجسم النفثي لأغراض علاجية (سبرى 1968) وظهرت فرضية حديثة لشرح هذه الظاهرة حول إمكانية تكوين مسالك غير معتادة في هذه الأدمغة، حيث يعبر بعضها من خلال وصلات عصبية أخرى في المخ الأمامي البطني أو في خط المنتصف. ولهذا، فإن اختلال تكوين الجسم النفثي يشكل نموذجا مهما لتقييم قدرة قنوات المادة البيضاء على التعرض لتغيرات جذرية مهمة في مسارها، مما يولد شبكات مختلفة تماما عن طريق "المرونة طويلة المسافة".

وقد درسنا بعض هذه الحالات، ويمكننا الكشف عن عدد كبير من الدوائر الشاذة المقامة بواسطة ألياف نفثية ذات اتجاهات مخالفة (تافور - مول وآخرون 2007، و 2014). ونلاحظ أن بعض هذه القنوات غير العادية المميزة لدى هؤلاء الأفراد، قد ربطت بين مناطق القشرة ذات الوضع المتماثل والمتضمنة في التعرف على الأشخاص على الرغم من عبور خط المنتصف في مستويات منخفضة من الجهاز العصبي، وقد أظهر أنه على الرغم من وجود القنوات غير العادية أو الشاذة، فإنه يمكن أن يعزى لهذه الأخيرة دورا تعويضا في تكامل المادة القشرية لجانبي المخ والمخصصة للتعرف على الأشياء مما يسمح للأفراد بالأداء المعتاد لهذه الوظيفة. وكان التحليل المقدم من طرفنا هو أن البيئة وكذلك الكثير من المحددات الوراثية قد تغير بشكل كبير من خريطة الاتصالات العصبية بالمخ البشرى من خلال النمو وهى ظاهرة نطلق عليها "مرونة التأثير طويلة المسافة"، حسبما جاء لدى "توفار - مول وآخرون" (2014).

العقول المستنيرة بالتعليم

يأخذ التعليم مجراه في الأوساط الاجتماعية بين أفراد متفاعلين مع بعضهم البعض، ويعنى هذا أن التفاعل المتبادل بين الأدمغة خلال التواصل أو الأنشطة التعليمية، يقع من خلال آليات المرونة العصبية، التى تسمح بتخزين وفك شفرة وتنظيم محتوى المعلومات المتبادلة.

ولذلك تتطلب تجارب التفاعلات التبادلية بين الأفراد، تسجيلات متزامنة لنشاط المخ في اثنين (أو أكثر) من الأفراد المتفاعلين فيما بينهما، حيث إنها ذات قيمة كبيرة لفهم الآليات القاعدية للتعليم والتعلم. وعلى سبيل المثال، قام "أندرز ومعاونوه" (2011) بتحليل نشاط المخ لأفراد ذكور بواسطة جهاز "MRI" لتفسير المحتوى العاطفي لوجوه قريناتهم الإناث (بواسطة التصوير بالفيديو)، وحيث إن هناك مساحات ثابتة من المخ، ومنشطة بواسطة نفس العاطفة لدى الإناث المرسلات والذكور المستقبلين (شبكة عواطف تشاركية)، فقد كان ممكنا توقع مناطق المخ المطابقة والمتعلقة بكل مظهر عاطفي للوجه، ويرتبط المظهر الخارجى للوجه بالكلام ويشكل جزءا من إيقاع الصوت، سويا مع حركات اليد والجسم كما سبق ذكره. ولهذا فمن الأمور وثيقة الصلة بذلك، دراسة كيف تتم التفاعلات اللغوية بين المدرسين والطلاب (كلام + إيقاع صوتي) في المحيط التعليمي. واستطاع "ستيفنز وسيلبرت، وهاسون" (2010) تحقيق مقارنة قوية الصلة عندما عالجوا التواصل اللفظي مباشرة بتحليل نشاط المخ لشخص يحكى قصة أمام جهاز تسجيل صوتي، ومقارنته بنشاط مخ آخر يصغى إلى القصة المسجلة. وأوضحوا أيضا أن الحاكى والمستمع لديهما تنشيط متناسق لمناطق متماثلة من المخ. وقد ترك هذا المدخل سؤالاً مهما بلا إجابة، عن الاختلافات في معالجة الأمور بالمخ ما بين الراسل (المدرس مثلا)، والمتلقى (الطالب على سبيل المثال) طالما أن الاتصالات تنشط في نفس المناطق بالمخ في كلا الفردين.

وقد خطا "كهولين، وألفيلد، وهانينز" (2012)، خطوة متقدمة في هذا الموضوع، حيث اكتشفوا قدرا من التنسيق بين أنشطة مناطق قشرية غير متماثلة أيضا. وعلاوة على ذلك، فقد استطاعوا العثور على أوجه شبه في نماذج رسم المخ الكهربائي "EEG" للمستمعين الذين يصغون إلى نفس القصص، مما يوحي بوجود ارتباط بين النشاط والمحتوى القصصى الخاضع للمعالجة بواسطة أدمغة المستمعين، ويستخدم الباحثون تسجيل رسم مخ كهربائي عالي الكثافة لتحسين دقة التحليل الفراغى. ووضع المؤلفون تفسيرا للنموذج الطبوغرافى المتفاوت للتنشيط المتناسق في أدمغة المستمعين، على أساس أنه متعلق بمشاركة مساحات مرتبطة بانتقاء المعلومات من الذاكرة، وكما اقترحت دراسات أخرى ذلك (أموديو، وفريث 2006). وبناء على هذه التحليلات الرائدة فقد تعرف "فيرث" (2007) على تجمع من المناطق التى قد تشكل "دماغنا الاجتماعى".

وتعتبر معظم هذه الدراسات محدودة لأنها تستكشف البعد الاجتماعى للطبيعة الإنسانية عن طريق تسجيلات لشخص واحد فقط في وقت ما. ونجد أنه في المواقف التفاعلية، من ناحية أخرى، يعدل كل شخص من إدراكات وردود فعل الشخص الآخر في الزمن الفعلى (كونفالنكا، وروب ستورف 2012)، ولهذا فإن التفاعل التبادلى بين الأشخاص وأدمغتهم ليس أحادى المعنى، ولا هو عملية ساكنة، وعلى العكس من ذلك، فإنها أمور تبادلية وذات حيوية عالية، حيث تمر المعلومات في الاتجاهين بين الدماغين المتفاعلين مع تغير مستمر من الناحية الوظيفية والأسس

الشكلية (المورفولوجية). ولهذا، فإنه لفهم العمليات المطلوبة لتفاعلات تبادلية بين فردين أو عدة أفراد مثل الإدراك الاجتماعي، والعواطف الاجتماعية، والتعليم والتعاون، فإننا بحاجة إلى أنظمة أو منهجيات جديدة تسمح بالبحث في الطبيعة الديناميكية لهذه التفاعلات التبادلية (ماك كاب، وهاوزر، وريان، وسميث، وتروارد 2001).

ويعتبر مبدأ تحليل دماغين الفعلى المعروف باسم "Hyper scanning" هو مجرد بداية نظرا للتعقيدات المصاحبة لتصميم نموذج تجريبي محكم الرقابة للتفاعلات الاجتماعية، ولإنجاز تحليل مقارنة للإشارة (المتحصل عليها من أجهزة رسم المخ) في الوقت الفعلى في حالة الأدمغة المتفاعلة معا تحت ظروف تسجيل مختلفة ولكنها تحدث في الوقت نفسه، وقد ثبتت إمكانية حدوث هذا الاتجاه سواء باستخدام جهاز EEG (استولفى وآخرون 2011)، أو باستخدام رسم المخ المغناطيسى (هيراتا وآخرون 2011)، أو باستعمال جهاز MRI (مونتاجيو وآخرون 2002)، أو جهاز سبكتروسكوبي بالأشعة تحت الحمراء (NIRS) حسب "أوراكا وآخرون 2015". وعلى سبيل المثال فقد استكشف كروجر ومعاونوه (2007) ديناميكيات شبكة المخ لاثنين من الغرباء المتواصلين عبر شبكة الإنترنت في لعبة ثقة متبادلة متتابعة بينما كان دماغ كل منهما خاضعا للفحص في الوقت ذاته.

وعلاوة على ذلك، استخدم الباحثون الجهازين NIRS ، و EEG لوضع خريطة لدوائر المخ لفردين متفاعلين تبادليا في حالة حديث وجها لوجه (جيانج وآخرون 2012) وكذلك في حالة غناء (أوزاكا وآخرون 2015)، أو عازفين آلات موسيقية (لندن برجر، ولي، وجروبر، وميلر 2009).

وتظهر هذه الدراسات في مجملها، نموذجا للتزامن بين الأدمغة (والمترقب بصفة خاصة بمشاركة شبكات الفص الأمامي) مما يشير إلى طرق تحليل واعدة من أجل فهم آليات المرونة العصبية للمشاركة وتبادل المعلومات بين الأدمغة أو الأشخاص (ليو، وبيلووسكى 2014)، ولا يزال حتى الآن هذا التصميم التجريبي أقل استخداما في التفاعلات التبادلية في التعليم على الرغم من استكشاف آثاره في الإطار الاجتماعي والعصبى الاقتصادى، والعاطفى، وسوف يكون ممكنا في المستقبل القريب أن تسهل التحسينات التكنولوجية عمل تسجيلات من أدمغة عديدة في ظل بيئات واقعية.

ملاحظات ختامية

لأنستطيع في هذا العرض القصير، تغطية العدد الهائل من الإسهامات في مختلف مستويات المرونة العصبية التى لها تأثير محتمل في الممارسات التعليمية. ويتلخص هدفنا في جذب الانتباه إلى أهمية استكشاف هذا النوع من البحوث الريادية، وقد اقترح "ستوكس" (1997) منهجا جديدا للبحوث القاعدية الموجهة لصالح الصحة والتى يمنح، بواسطتها، واضعو السياسات والمؤسسات،

الدعم للبحث العلمي نظرا لاستخدامه في المجال الاجتماعي، معتقدا أن بإمكانه إجراء ربط أفضل للبحوث الأساسية بالجوانب التطبيقية للصحة والأمراض. ونقترح هنا بأن يستهدف الباحثون منهاجا مماثلا في التعليم، وفي هذه الحالة فإن علوم الأعصاب على وجه التحديد تلعب دورا مهما. وتعتبر الفوائد العملية لبحوث علوم الأعصاب مجالا ساخنا للمناقشات بين علماء الأعصاب والإخصائين النفسيين (انظر باورز 2016، كمثال حديث). فمن ناحية، يدعى علماء النفس أن معرفة ما يجري في المخ عند التعلم، قد توحى باقتراحات للإسراع من محو الأمية والقراءة السريعة والقدرات الإدراكية مثل الانتباه وحل المشكلات والمهارات الأخرى (سيجمان وآخرون 2014)، ومن ناحية أخرى يسوق الإخصائون النفسيون الحجة بأن "الجسر لايزال بعيدا" (بروير 1997)، وأنه يجب على علم النفس الإدراكي تقريب العلاقات بين الإثبات المستقر من جانب علم الأعصاب، والممارسات المدرسية. ويبدو في رأينا أن مثل هذا المنهج الإقليمي يصلح كمناقشة أكاديمية مثمرة ولكنه لايساعد في بناء الجسر بين الجانبين. ويساعد، في الواقع على بذل بعض الجهود نحو تبادل الخبرات والنقاش العام، وبعض التطبيقات التجريبية وفي الإسراع من تطوير تكنولوجيات جديدة وتحسين السياسات التعليمية في الدول المتقدمة والنامية. وعلاوة على ذلك، ربما كان لهذا الأمر آثار أعظم في الدول النامية والمتطلبة للتحرك بسرعة أكبر للوصول إلى مستويات مقبولة من التعليم بين سكانها، وينطبق نفس الموقف على الأطفال ذوي العاهات التعليمية، فهم بحاجة إلى حلول سريعة كلما أمكن.

ونقوم بإعطاء أمثلة، من بين العديد من الحالات، حيث الاقتراحات المؤسسة على أدلة ملموسة، قد بدأت في النضج. وتعتبر التدريبات البدنية هي أحد هذه الأمثلة، وقد أظهرت الدراسات أن التدريبات تزيد من تكاثر الخلايا العصبية في حصين الفأر (الحصين هو الجزء المسؤول عن الذاكرة في الدماغ) والرجال، مما يقوى الإدراك (إريكسون وآخرون 2011، وبيريرا وآخرون 2007، وفان براج، وكمبرمان وجيج 1999). وحتى أن هذا التأثير ينتقل إلى ذرية الشخص البالغ، عندما تزاول الأم الرياضة خلال الحمل (جوميز داسيلفا، وآخرون 2016). ويعتبر إدخال التدريبات الرياضية اليومية في المدارس هو اقتراحا بديهيا للمعلمين، حيث إنه حائز على أساس علمي قوي، وهناك مثال آخر هو تأثير النوم على مرونة الحصين وتدعيم الذاكرة. وقد ظهر من عدة تجارب على الحيوانات والإنسان، وجود تعديل انضباطي من جراء المرونة مع دعم أقوى للذاكرة (حسب مراجعة ديكلمان وبورن 2010، ورييرو 2012). وعلاوة على ذلك، فقد وجد أن الأداء البشري في عدة مجالات إدراكية يتحسن بعد النوم (بيجاميني، وبيريرا، وسيني ولوزادا 2014، واملي، وتاكر، وباين، وستيك جولد 2010)، وكذلك الأمر بالنسبة للمهارات الاجتماعية الحركية مثل الفطنة (واجنز، وخيس، وهايدر، وفيرليجر، وبورن 2004)، والإبداع (ريتز، وستريك، وبوس، وفان بارن، وديجسكتر هويس 2012). ولهذا، فإن الاقتراح المبني على أسس قوية بأن

ينفذ المعلمون فترة نوم قصيرة خلال اليوم الدراسي هو محاولة لتشجيع التعليم، وينبغي على الإخصائيين النفسيين والمدرسين، في كلا المثلين، القيام بأنفسهم بتقييم فاعلية التمرينات الرياضية والنوم في المدرسة، ويضعون تدريجاً لجهودهم على كل شبكات المدرسة بعد هذه التقييمات فقط.

لقد قمنا باختصار باستكشاف عدة مستويات، من الجزئيات إلى المحيطات الاجتماعية، لتصوير مدى تغير المخ المتعلم في اتصاله بالبيئة، والتي هي كذلك شديدة الاتساع والتنوع من الإطار الطبيعي (المعتاد) إلى التعليم المنظم اجتماعياً في المدارس. وتعيش هذه المستويات المختلفة، وكما اقترح روز (1976) فإنه علينا أن نتناولها بدرجات مختلفة من الاختزال، ولكن نربطها كلما كان ذلك ممكناً، من أجل تحقيق إدراك شامل لكل الظواهر المتضمنة. ونحن لدينا النية على التأكيد بأنه ليست الخلايا العصبية والدوائر وحدها، هي المعرضة للتغير، ولكن أجزاء المخ عرضة لذلك أيضاً، بل والأدمغة الكاملة المتفاعلة كذلك، وينبغي أن يجعل فهم كل هذه المستويات المحددة والمرتبطة أيضاً من التمثيل، يجعل المعلمين أكثر استعداداً، لاقتراح، وتنفيذ، واختبار وتحديد التغيرات الواقعة للعمليات والمنهجيات التعليمية.

السيرة الذاتية للمؤلفين

فرناندا توفار - مول (البرازيل): حاصلة على درجتي الماجستير والدكتوراه من جامعة ريو دي جانيرو - وتشغل وظيفة أستاذ مساعد للعلوم الحيوية الطبية وكذلك في المركز الوطني للبيولوجيا التركيبية والتصوير الحيوي وجامعة ريو دي جانيرو كما أنها مديرة معهد "دور" للبحوث والتدريس. وهي عضو منتسب في أكاديمية العلوم البرازيلية، وتتضمن اهتماماتها البحثية، المرونة العصبية في البشر والحيوان سواء في حالات الصحة والمرض، كما يتضح من النسخ الحديثة للتصوير العصبى باستخدام الرنين المغناطيسى.

روبرت لنت (البرازيل): حاصل على درجتي الماجستير والدكتوراه من جامعة ريو دي جانيرو ويشغل منصب أستاذ في معهد الدراسات البيولوجية في هذه الجامعة، حيث عمل كمدير المعهد في السنوات الثماني الأخيرة. وهو عضو كامل في أكاديمية العلوم البرازيلية والمنسق الحالى لشبكة العلوم من أجل التعليم في البرازيل. وتتضمن اهتماماته البحثية المرونة العصبية في البشر والحيوان عن طريق ربط تقنيات تصوير التتبع في الحالة الأولى مع التقنيات التشريحية ودراسات المناعة الكيميائية في الحالة الأخيرة.

References

- Aboitiz, F., Scheibel, A. B., Fisher, R. S., & Zaidel, E. (1992). Fiber composition of the human corpus callosum. *Brain Research*, 598, 143–153.
- Aimone, J. B., Li, Y., Lee, S. W., Clemenson, G. D., Deng, W., & Gage, F. H. (2014). Regulation and function of adult neurogenesis: From genes to cognition. *Physiological Reviews*, 94, 991–1026.

- Amodio, D. M., & Frith, C. D. (2006). Meetings of minds: The medial frontal cortex and social cognition. *Nature Reviews. Neuroscience*, 7, 268–277.
- Anders, S., Heinze, J., Weiskopf, N., Ethover, T., & Haynes, J. D. (2011). Flow of affective information-between communicating brains. *Neuroimage*, 54, 439–446.
- Astolfi, L., Toppi, J., Fallani, F. V., Vecchiato, G., Cincotti, F., Wilke, C. T., et al. (2011). Imaging the social brain by simultaneous hyperscanning during subject interaction. *IEEE Intelligence Systems*, 26, 38–45.
- Bado, P., Engel, A., de Oliveira Souza, R., Bramati, I. E., Paiva, F. F., Babilio, R., et al. (2014). Functional dissociation of ventral frontal and dorsomedial default mode network components during resting state and emotional autobiographical recall. *Human Brain Mapping*, 35, 3302–3313.
- Bandeira, F., Lent, R., & Herculano-Houzel, S. (2009). Changing numbers of neuronal and non-neuronal cells underlie postnatal brain growth in the rat. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 14110–14113.
- Bejjani, F., Pereira, S. I. R., Cini, F. A., & Louzada, F. M. (2014). After being challenged by a video game problem, sleep increases the chance to solve it. *PLoS ONE*, 9(1), e84342.
- Bernardinelli, Y., Randall, J., Janett, E., Nikonenko, I., König, S., Jones, E. V., et al. (2014). Activity-dependent structural plasticity of perisynaptic astrocytic domains promotes excitatory synapse stability. *Current Biology*, 24, 1679–1688.
- Bhardwaj, R. D., Curtis, M. A., Spalding, K. L., Buchholz, B. A., Fink, D., Björk-Eriksson, T., et al. (2006). Neocortical neurogenesis in humans is restricted to development. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103, 12564–12568.
- Bliss, T. V., & Lomo, T. (1973). Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate gyrus of the anesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *Journal of Physiology*, 232, 331–356.
- Bolger, D. J., Perfetti, C. A., & Schneider, W. (2005). Cross-cultural effect on the brain revisited: Universal structures plus writing system variation. *Human Brain Mapping*, 25, 92–104.
- Bonin, R. P., & De Koninck, Y. (2015). Reconsolidation and the regulation of plasticity: Moving beyond memory. *Trends in Neurosciences*, 38, 336–344.
- Bowers, J. S. (2016). The practical and principled problems with educational neuroscience. *Psychological Review*, 123, 600–612.
- Bruer, J. T. (1997). Education and the brain: A bridge too far. *Education Research*, 26, 4–16.
- Byrnes, J. P., & Fox, N. A. (1998). The educational relevance of research in cognitive neuroscience. *Educational Psychology Review*, 10, 297–342.
- Chang, Y. (2014). Reorganization and plastic changes of the human brain associated with skill learning and expertise. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 35.
- Chédotal, A., & Richards, L. J. (2010). Wiring the brain: The biology of neuronal guidance. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 2, a001917.
- Chen, R., Cohen, L. G., & Hallett, M. (2002). Nervous system reorganization following injury. *Neuroscience*, 111, 761–773.
- Connor, S. A., & Wang, Y. T. (2015). A place at the table: LTD as a mediator of memory genesis. *The Neuroscientist*, 22, 359–371.
- Cross, E. S., Kraemer, D. J., Hamilton, A. F., Kelley, W. M., & Grafton, S. T. (2009). Sensitivity of the action observation network to physical and observational learning. *Cerebral Cortex*, 19, 315–326.
- Da Costa, N. M., & Martin, K. A. (2013). Sparse recognition of brain circuits: Or, how to survive without a microscopic connectome. *Neuroimage*, 80, 27–36.
- Dehaene, S., & Cohen, L. (2007). Cultural recycling of cortical maps. *Neuron*, 56, 384–398.
- Dehaene, S., Pegado, F., Braga, L. W., Ventura, P., Nunes Filho, G., Jobert, A., et al. (2010). How learning to read changes the cortical networks for vision and language. *Science*, 330, 1359–1364.
- Dickelmann, S., & Born, J. (2010). The memory function of sleep. *Nature Reviews. Neuroscience*, 11, 114–126.

- Diniz, L. P., Matias, I. C. P., Garcia, M. N., & Gomes, F. C. A. (2014). Astrocytic control of neural circuit-formation: Highlights on TGF-beta signaling. *Neurochemistry International*, 78, 18–27.
- Douglas, R. J., & Martin, K. A. C. (2004). Neuronal circuits of the neocortex. *Annual Reviews of Neuroscience*, 27, 419–451.
- Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., & May, A. (2004). Neuroplasticity: Changes in grey matter induced by training. *Nature*, 427, 311–312.
- Erickson, K. I., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L., et al. (2011). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 3017–3022.
- Fenlon, L. R., & Richards, L. J. (2015). Contralateral targeting of the corpus callosum in normal and pathological brain function. *Trends in Neurosciences*, 38, 264–272.
- Fields, R. D., Araque, A., Johansen-Berg, H., Lim, S.-S., Lynch, G., Nave, K.-A., et al. (2014). Glial biology in learning and cognition. *Neuroscientist*, 20, 426–431.
- Fox, K. C., Spreng, R. N., Ellamil, M., Andrews-Hanna, J. R., & Christoff, K. (2015). The wandering brain: Meta-analysis of functional neuroimaging studies of mind-wandering and related spontaneous thought processes. *Neuroimage*, 111, 611–621.
- Frey, U., & Morris, R. G. (1997). Synaptic tagging and long-term potentiation. *Nature*, 385, 533–536.
- Friston, K. J., & Frith, C. D. (2015). Active inference, communication and hermeneutics. *Cortex*, 68, 129–143.
- Frith, C. D. (2007). The social brain? *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Biological Sciences*, 362, 671–678.
- Froes, M. M., & Menezes, J. R. L. (2002). Coupled heterocellular arrays in the brain. *Neurochemistry-International*, 41, 367–375.
- Garcez, P. P., Henrique, N. P., Furtado, D. A., Bolz, J., Lent, R., & Uziel, D. (2007). Axons of callosal-neurons bifurcate transiently at the white matter before consolidating an interhemispheric projection. *European Journal of Neuroscience*, 25, 1384–1394.
- Gazzaniga, M. S. (2005). Forty-five years of split-brain research and still going strong. *Nature Reviews Neuroscience*, 6, 653–659.
- Giese, K. P., & Mizuno, K. (2013). The roles of protein kinases in learning and memory. *Learning and Memory*, 20, 540–552.
- Gilmore, A. W., Nelson, S. M., & McDermott, K. B. (2015). A parietal memory network revealed by multiple MRI methods. *Trends in Cognitive Sciences*, 19, 534–543.
- Gomes da Silva, S., Almeida, A. A., Fernandes, J., Lopim, G. M., Cabral, F. R., Scerni, D. A., et al. (2016). Maternal exercise during pregnancy increases BDNF levels and cell numbers in the hippocampal formation but not in the cerebral cortex of adult rat offspring. *PLoS ONE*, 11(1), 0147200.
- Greicius, M. D., Krasnow, B., Reiss, A. L., & Menon, V. (2003). Functional connectivity in the resting brain: A network analysis of the default mode hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100, 253–258.
- Herculano-Houzel, S., Collins, C. E., Wong, P., Kaas, J. H., & Lent, R. (2008). The basic nonuniformity of the cerebral cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105, 12593–12598.
- Herdener, M., Esposito, F., di Salle, F., Boller, C., Hilti, C. C., Habermeyer, B., et al. (2010). Musical training induces functional plasticity in human hippocampus. *Journal of Neuroscience*, 30, 1377–1384.
- Hirata, M., Ikeda, T., Kikuchi, M., Kimura, T., Hiraishi, H., Yoshimura, Y., et al. (2014). Hyperscanning MEG for understanding mother-child cerebral interactions. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 118.
- Hyde, K. L., Lerch, J., Norton, A., Forgeard, M., Winner, E., Evans, A. C., et al. (2009). Musical training shapes structural brain development. *Journal of Neuroscience*, 29, 3019–3025.
- Ito, M., Sakurai, M., & Tongroach, P. (1982). Climbing fibre induced depression of both mossy fibre responsiveness and glutamate sensitivity of cerebellar Purkinje cells. *Journal of Physiology*, 324,

113–134.

- Jancke, L. (2009). The plastic human brain. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 27, 521–538.
- Jiang, J., Dai, B., Peng, D.-L., Zhu, C.-Z., Liu, L., & Lu, C.-M. (2012). Neural synchronization during face-to-face communication. *Journal of Neuroscience*, 32, 16064–16069.
- Jobard, G., Crivello, F., & Tzourio-Mazoyer, M. (2003). Evaluation of the dual route theory of reading: A meta-analysis of 35 neuroimaging studies. *Neuroimage*, 20, 693–712.
- Kandel, E. R. (2012). The molecular biology of memory: cAMP, PKA, CRE, CREB-1, CREB-2, and C/EB. *Molecular Brain*, 5, 14.
- Kempermann, G., Gast, D., Kronenberg, G., Yamaguchi, M., & Gage, F. H. (2003). Early determination and long-term persistence of adult-generated new neurons in the hippocampus of adult mice. *Development*, 130, 391–399.
- Kim, H. (2013). Differential neural activity in the recognition of old versus new events: An activation likelihood estimation meta-analysis. *Human Brain Mapping*, 34, 814–836.
- Klingberg, T. (2013). *The learning brain*. New York: Oxford University Press.
- Konvalinka, I., & Roepstorff, A. (2012). The two-brain approach: How can mutually interacting brains teach us something about social interaction? *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 215.
- Krueger, F., McCabe, K., Moll, J., Kriegeskorte, N., Zahn, R., Strenziok, M., et al. (2007). Neural correlates of trust. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, 20084–20089.
- Kuhlen, A. K., Allefeld, C., & Haynes, J.-D. (2012). Content-specific coordination of listeners' to speakers' EEG during communication. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 266.
- Lindenberger, U., Li, S., Gruber, W., & Muller, V. (2009). Brains swinging in concert: Cortical phase synchronization while playing guitar. *BMC Neuroscience*, 10, 22.
- Liu, T., & Pelowski, M. (2014). Clarifying the interaction types in two-person neuroscience research. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 276.
- Liu, X., Ramirez, S., Pang, P. T., Puryear, C. B., Govindarajan, A., Deisseroth, K., et al. (2012). Optogenetic stimulation of a hippocampal engram activates fear memory recall. *Nature*, 484, 381–385.
- Liu, X., Ramirez, S., Redondo, R. L., & Tonegawa, S. (2014). Identification and manipulation of memory engram cells. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 79, 59–65.
- Maurer, U., Brem, S., Kranz, F., Bucher, K., Benz, R., Halder, P., et al. (2006). Coarse neural tuning for print peaks when children learn to read. *Neuroimage*, 33, 749–758.
- McCabe, K., Houser, D., Ryan, L., Smith, V., & Trouard, T. (2001). A functional imaging study of cooperation in two-person reciprocal exchange. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98, 11832–11835.
- Meltzoff, A. N., Kuhl, P. K., Movellan, J., & Sejnowski, T. J. (2009). Foundations for a new science of learning. *Science*, 325, 284–288.
- Montague, P. R., Berns, G. S., Cohen, J. D., McClure, S. M., Pagnoni, G., Dhamala, M., et al. (2002). Hyperscanning: simultaneous fMRI during linked social interactions. *Neuroimage*, 16, 1159–1164.
- Ninkovic, J., Mori, T., & Go"tz, M. (2007). Distinct modes of neuron addition in adult mouse neurogenesis. *Journal of Neuroscience*, 27, 10906–10911.
- Oberheim, N. A., Wang, X., Goldman, S., & Nedergaard, M. (2006). Astrocytic complexity distinguishes the human brain. *Trends in Neuroscience*, 29, 547–553.
- Opendak, M., & Gould, E. (2015). Adult neurogenesis: A substrate for experience-dependent change. *Trends in Cognitive Sciences*, 19, 151–161.
- Osaka, N., Minamoto, T., Yaoi, K., Azuma, M., Shimada, Y. M., & Osaka, M. (2015). How two brains make one synchronized mind in the inferior frontal cortex: fNIRS-based hyperscanning during cooperative singing. *Frontiers in Psychology*, 6, 1811.
- Pereira, A. C., Huddleston, D. E., Brickmann, A. M., Sosunov, A. A., Hen, R., McKhann, G. M., et al. (2007). An in vivo correlate of exercise-induced neurogenesis in the adult dentate gyrus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, 5638–5643.

- Rakic, P. (1985). Limits of neurogenesis in primates. *Science*, 227, 1054–1056.
- Rakic, P., & Yakovlev, P. I. (1968). Development of the corpus callosum and cavum septi in man. *Journal of Comparative Neurology*, 132, 45–72.
- Reed, C. L., Klatzky, R. L., & Halgren, E. (2005). What vs. where in touch: An fMRI study. *Neuroimage*, 25, 718–726.
- Ribeiro, S. (2012). Sleep and plasticity. *Pflügers Archiv–European Journal of Physiology*, 463, 111–120.
- Ritter, S. M., Strick, M., Bos, M. W., van Baaren, R. B., & Dijksterhuis, A. (2012). Good morning creativity: Task reactivation during sleep enhances beneficial effect of sleep on creative performance. *Journal of Sleep Research*, 21, 643–647.
- Rock, C., & Apicella, A. J. (2015). Callosal projections drive neuronal-specific responses in the mouse auditory cortex. *Journal of Neuroscience*, 35, 6703–6713.
- Rockel, A. J., Hiorns, R. W., & Powell, T. P. (1980). The basic uniformity in structure of the neocortex. *Brain*, 103, 221–244.
- Ritter, S. M., Strick, M., Bos, M. W., van Baaren, R. B., & Dijksterhuis, A. (2012). Good morning creativity: Task reactivation during sleep enhances beneficial effect of sleep on creative performance. *Journal of Sleep Research*, 21, 643–647.
- Rock, C., & Apicella, A. J. (2015). Callosal projections drive neuronal-specific responses in the mouse auditory cortex. *Journal of Neuroscience*, 35, 6703–6713.
- Rockel, A. J., Hiorns, R. W., & Powell, T. P. (1980). The basic uniformity in structure of the neocortex. *Brain*, 103, 221–244.
- Rose, S. (1976). *The conscious brain*. New York: Vintage Books.
- Salazar, I. L., Caldeira, M. V., Curcio, M., & Duarte, C. B. (2015). The role of proteases in hippocampal synaptic plasticity: Putting together small pieces of a complex puzzle. *Neurochemical Research*, 41, 156–182.
- Sammler, D., Kotz, S. A., Eckstein, K., Ott, D. V., & Friederici, A. D. (2010). Prosody meets syntax: The role of corpus callosum. *Brain*, 133, 2643–2655.
- Saul, R. E., & Sperry, R. W. (1968). Absence of commissurotomy symptoms with agenesis of the corpus callosum. *Neurology*, 18, 307.
- Sekiguchi, A., Yokoyama, S., Kasahara, S., Yomogida, Y., Takeuchi, H., Ogawa, T., et al. (2011). Neural bases of a specific strategy for visuospatial processing in rugby players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43, 1857–1862.
- Shen, K., Misić, B., Cipollini, B. N., Bezgin, G., Buschkuhl, M., Hutchinson, R. M., et al. (2015). Stable long-range interhemispheric coordination is supported by direct anatomical projections. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112, 6473–6478.
- Shirer, W. R., Ryali, S., Rykhlevskaia, E., Menon, V., & Greicius, M. D. (2012). Decoding subject-driven cognitive states with whole-brain connectivity patterns. *Cerebral Cortex*, 22, 158–165.
- Sigman, M., Pen̄a, M., Goldin, A. P., & Ribeiro, S. (2014). Neuroscience and education: Prime time to build the bridge. *Nature Neuroscience*, 17, 497–502.
- Simões, E. L., Bramati, I., Rodrigues, E., Franzoi, A., Moll, J., Lent, R., et al. (2012). Functional expansion of sensorimotor representation and structural reorganization of callosal connections in lower limb amputees. *Journal of Neuroscience*, 32, 3211–3220.
- Spalding, K. L., Bergmann, O., Alkass, K., Bernard, S., Salehpour, M., Huttner, H. B., et al. (2013). Dynamics of hippocampal neurogenesis in adult humans. *Cell*, 153, 1219–1227.
- Sperry, R. W. (1968). Hemisphere disconnection and unity in conscious awareness. *American Psychologist*, 23, 723–733.
- Sporns, O., & Kötter, R. (2004). Motifs in brain networks. *PLoS Biology*, 2, e369.
- Stephens, G. J., Silbert, L. J., & Hasson, U. (2010). Speaker-listener neural coupling underlies successful communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107, 14425–14430.
- Stokes, D. E. (1997). *Pasteur's quadrant: Basic science and technological innovation*. Washington, DC:

Brookings Institution Press.

- Tovar-Moll, F., Moll, J., de Oliveira-Souza, R., Bramati, I., Andreiuolo, P. A., & Lent, R. (2007). Neuroplasticity in human callosal dysgenesis: A diffusion tensor imaging study. *Cerebral Cortex*, 17, 531–541.
- Tovar-Moll, F., Monteiro, M., Andrade, J., Bramati, I. E., Vianna-Barbosa, R., Marins, T., et al. (2014). Structural and functional brain rewiring clarifies preserved interhemispheric transfer in humans born without the corpus callosum. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111, 7843–7848.
- Van Praag, H., Kemptmann, G., & Gage, F. H. (1999). Running increases cell proliferation and neurogenesis in the adult mouse dentate gyrus. *Nature Neuroscience*, 2, 266–270.
- Vogel, A. C., Church, J. A., Power, J. D., Miezin, F. M., Petersen, S. E., & Schlaggar, B. L. (2013). Functional network architecture of reading-related regions across development. *Brain and Language*, 125, 231–243.
- Vollmann, H., Ragert, P., Conde, V., Villringer, A., Classen, J., Witte, O. W., et al. (2014). Instrument specific use-dependent plasticity shapes the anatomical properties of the corpus callosum: A comparison between musicians and non-musicians. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8, 245.
- Wagner, U., Gais, S., Haider, H., Verleger, R., & Born, J. (2004). Sleep inspires insight. *Nature*, 427, 352–355.
- Wamsley, E. J., Tucker, M. A., Payne, J. D., & Stickgold, R. (2010). A brief nap is beneficial for human route-learning: The role of navigation experience and EEG spectral power. *Learning and Memory*, 17, 332–336.
- Yeo, B. T., Krienen, F. M., Sepulcre, J., Sabuncu, M. R., Lashkari, D., Hollinshead, M., et al. (2011). The organization of the human cerebral cortex estimated by intrinsic functional connectivity. *Journal of Neurophysiology*, 106, 1125–1165.